

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ana Bašić

Zagreb, 2025.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Dr. sc. Antun Pfeifer, mag. ing.

Student:

Ana Bašić

Zagreb, 2025.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojim mentorima prof. dr. sc. Nevenu Duiću te dr. sc. Antun Pfeiferu, na pruženoj pomoći i strpljenju tijekom izrade rada. Također zahvaljujem svojoj obitelji i dečku Mirku na svakodnevnoj podršci i ohrabrenju tijekom izrade ovog rada, ali i cjelokupnog prijediplomskog studija.

Ana Bašić



ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ana Bašić**

JMBAG: **0035242434**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Energetsko planiranje Grada Duga Resa korištenjem računalnog programa EnergyPLAN**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Energy Planning of the City of Duga Resa Using the EnergyPLAN Simulation Tool**

Opis zadatka:

Ovaj završni rad bavi se analizom i planiranjem lokalnog energetskeg sustava Grada Duga Rese s ciljem istraživanja mogućnosti energetske tranzicije prema klimatski neutralnom razvoju. Korištenjem računalnog programa EnergyPLAN izradit će se model energetskeg sustava, koji uključuje sektor energetike te sektore potrošnje energije, poput zgradarstva, prometa i javne rasvjete.

Poseban naglasak stavlja se na korištenje obnovljivih izvora energije (OIE). Na temelju potencijala za instalaciju OIE na krovovima javnih zgrada te drugih elektrana na području Grada, u rad će biti uključeni različiti scenariji razvoja – primjerice uvođenje električnih vozila, ugradnja dizalica topline i instalacija novih OIE kapaciteta.

Scenariji će se međusobno uspoređivati prema udjelu OIE, emisijama CO₂ te ukupnoj potrošnji energije. Cilj je istražiti koji bi smjer razvoja mogao doprinijeti većoj održivosti i samodostatnosti lokalnog energetskeg sustava.

U okviru rada potrebno je:

1. Prikupiti i obraditi podatke o potrošnji energije u sektoru zgradarstva, prometa i javne rasvjete.
2. Procijeniti tehnički potencijal proizvodnje energije iz lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije.
3. Izraditi osnovni (bazni) model postojećeg sustava u EnergyPLAN-u.
4. Definirati i analizirati nekoliko scenarija povećane energetske učinkovitosti i udjela obnovljivih izvora (npr. dizalice topline, električna vozila, fotonaponski sustavi).
5. Usporediti scenarije prema emisijama CO₂ i udjelu obnovljivih izvora energije u primarnoj potrošnji energije.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

5.5.2025.

2. rok: 10. i 11.7. 2025.

2. rok: 15.7. - 18.7.2025.

3. rok: 18. i 19. 9. 2025.

3. rok: 22. 9. - 26. 9. 2025.

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

prof. dr. sc. Neven Duić

dr. sc. Antun Pfeifer

prof. dr. sc. Vladimir Soldo

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
SAŽETAK.....	IV
SUMMARY	V
1. UVOD.....	1
2. METODA I PODACI.....	3
2.1. RenewIslands	3
2.2. EnergyPLAN.....	4
2.3. LOGREENER.....	5
3. Primjena metodologije na energetska sustav Duge Rese	7
3.1. Opći okvir PRISMI PLUS metodologije za izradu budućih energetskih razvojnih scenarija	7
3.2. Izrada satnih krivulja za EnergyPLAN	8
3.2.1. Krivulja toplinskog opterećenja	8
3.2.2. Krivulja potrebe za električnom energijom	9
Krivulje insolacije	10
3.3. Trenutačno energetska stanje Grada Duge Rese – sakupljeni podaci	11
3.3.1. Promet, industrija i potrošnja toplinske i električne energije.....	11
3.3.2. Tehnički potencijal proizvodnje energije iz lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije.....	13
3.3.3. Solarna energija u Dugoj Resi	13
4. RAD U ENERGYPLAN-U	16
4.1. LowRES scenarij.....	16
4.2. RES scenarij.....	18
4.3. HighRES scenarij.....	20
5. ANALIZA I REZULTATI	22
5.1. LowRES – rezultati	22
5.2. RES – rezultati	24
5.3. HighRES rezultati	26
5.4. Društveno-ekonomska analiza	29
6. DISKUSIJA	32
7. ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA.....	36

POPIS SLIKA

Slika 1	Prikaz EnergyPLAN-a pri računu satnih bilanci	4
Slika 2	PRISMI PLUS pristup korak po korak.....	6
Slika 3	Satna distribucija toplinskog opterećenja.....	8
Slika 4	Distribucija potrošnje električne energije.....	9
Slika 5	Satna distribucija insolacije u gradskoj jezgri (G1)	10
Slika 6	Podjela vozila u Dugoj Resi prema namjeni i prema vrsti goriva.....	11
Slika 7	Udio pojedinih energenata u grijanju	12
Slika 8	Insolacija Duge Rese	13
Slika 9	Karta Duge Rese s označenim potencijalnim lokacijama za instalaciju solarnih panela.....	14
Slika 10	Raspodjela vozila prema vrsti pogona za sva tri scenarija.....	21
Slika 11	Instalirani solarni kapacitet za sva tri scenarija.....	21
Slika 12	LowRES strategija – usporedba uvezene energije i PV proizvodnje za 2030. i 2050. godinu	23
Slika 13	RES strategija – usporedba uvezene energije, izvezene energije i PV proizvodnje za 2030. i 2050. godinu	25
Slika 14	Punjenje baterija u vozilima V2G tehnologijom za HighRES projekciju 2030. godine	26
Slika 15	Punjenje baterija u vozilima V2G tehnologijom za HighRES projekciju do 2030. godine	27
Slika 16	HighRES strategija – usporedba uvezene energije, izvezene energije i PV proizvodnje za 2030. i 2050. godinu	28
Slika 17	Godišnje cijene investicije za sve strategije i sve projekcijske godine	29
Slika 18	Ukupni godišnji troškovi za sve strategije i projekcije	30
Slika 19	Prikaz cijena godišnjih emisija za sve strategije i projekcijske godine.....	30
Slika 20	Broj novootvorenih radnih mjesta za sve strategije i projekcijske godine.....	31
Slika 21	Prikaz udjela energije iz OIE u potrošnji energije za sve strategije i projekcijske godine	32
Slika 22	Usporedba emisija CO ₂ za sve strategije i projekcijske godine	33

POPIS TABLICA

Tablica 1	Potreba za energijom Duge Rese.....	12
Tablica 2	Lokacije unutar grada Duga Resa pogodne za potencijalno instaliranje solarnih panela na krovove.....	15
Tablica 3	Procjena broja automobila u Dugoj Resi za LowRES scenarij za tri projekcijske godine	16
Tablica 4	Procjena instaliranih solarnih kapaciteta za projekcijske godine	17
Tablica 5	Procjena broja automobila u Dugoj Resi za RES scenarij za projekcijske godine	18
Tablica 6	Udjeli energenata u potrošnji toplinske energije za RES scenarij za projekcijske godine	19
Tablica 7	Udjeli energenata u potrošnji toplinske energije za HighRES scenarij za projekcijske godine.....	20
Tablica 8	Usporedba rezultata za LowRES scenarij za 2030. i 2050. godinu	22
Tablica 9	Usporedba rezultata za RES scenarij za 2030. i 2050. godinu.....	24
Tablica 10	Usporedba rezultata za HighRES scenarij za 2030. i 2050. godinu.....	27

SAŽETAK

Već duže vrijeme je poznato da je smanjenje udjela fosilnih goriva u energetske sustavima nužno, ne samo zbog njihovog negativnog utjecaja na okoliš, već i zbog ograničenosti tih resursa čija dostupnost kontinuirano opada. Cilj suvremenih energetske strategije jest postizanje dugoročne samodostatnosti i održivosti, što je moguće samo povećanjem udjela obnovljivih izvora energije (OIE) u svim sustavima.

U okviru ovog završnog rada provedena je analiza energetske sustava grada Duge Rese s ciljem oblikovanja, modeliranja i usporedbe tri različita energetske scenarija temeljena na lokalnom potencijalu obnovljivih izvora energije.

Energetske analiza i planiranje provedeno je primjenom PRISMI PLUS alata, LOGREENER metodologije, RenewIslands metodologije te korištenjem računalnog simulacijske modela EnergyPLAN.

Modelirana su tri razvojna scenarija s različitim udjelima obnovljivih izvora energije za dvije projekcijske godine – 2030. i 2050. Za uravnoteženje sustava i pohranu energije korištena je vehicle-to-grid (V2G) tehnologija. Rezultati su pokazali da je moguće oblikovati energetske održiv sustav temeljen na OIE, no da V2G tehnologija sama po sebi nije dovoljna kao jedini sustav pohrane energije. Unatoč značajnom doprinosu V2G-a stabilizaciji sustava, i dalje je nužno oslanjanje na druge oblike skladištenja energije.

Analiza je obuhvatila i tehno-ekonomsku isplativost te društveno-energetske učinke. Rezultati upućuju da je umjereno ambiciozna strategija najisplativija jer donosi značajan napredak prema samodostatnom i niskougljičnom energetske sustavu uz ekonomski prihvatljiv pristup.

Ključne riječi: EnergyPLAN, Obnovljivi izvori energije, Vehicle-to-Grid

SUMMARY

It has long been known that reducing the share of fossil fuels in energy systems is necessary, not only because of their negative environmental impact but also due to the fact that fossil fuels are limited resources with continuously declining availability. The goal of recent energy strategies is to achieve long-term self-sufficiency and sustainability, which is possible only by increasing the share of renewable energy resources (RES) in all systems.

This paper analyses the energy system in the city of Duga Resa, aimed at modelling and comparing three different energy scenarios based on the local potential of renewable energy sources. The energy analysis and planning were conducted using the PRISMI PLUS toolkit, LOGREENER methodology, RenewIslands methodology as well as EnergyPLAN- a computer simulation model.

Three development scenarios with varying shares of renewable energy sources were modelled for two projection years – 2030 and 2050. Vehicle-to-grid (V2G) technology was used for system balancing and energy storage.

The results showed that it is possible to achieve an energy-sustainable system based on renewable energy sources, but that V2G technology alone is insufficient as the sole energy storage solution. Despite V2G's significant contribution to system stabilisation, reliance on other forms of energy storage remains necessary.

The analysis also covered techno-economic feasibility and socio-energy impacts. The results indicate that a moderately ambitious strategy is the most cost-effective, offering significant progress toward a self-sufficient and low-carbon energy system while maintaining an economically viable approach.

Key words: EnergyPLAN, Renewable energy sources, Vehicle-to-grid

1. UVOD

Grad Duga Resa smješten je u Karlovačkoj županiji, zapadno od Grada Karlovca. Smješten je uz rijeku Mrežnicu. Energetski sustav Duge Rese u velikoj mjeri ovisi o fosilnim gorivima, ponajviše lož ulju, dizelu i benzinu, koji se koriste za potrebe grijanja, prometa i industrije. Takva struktura energetskog sustava znači ovisnost o uvozu i globalnim cijenama nafte. Uz troškove samog goriva, postoje i troškovi transporta, koji su također financijski iscrpni.

Obnovljivi izvori energije nemaju trošak goriva te se njihovim uvođenjem on eliminira zajedno s lošim ekološkim utjecajem fosilnih goriva[1].

Zbog same naravi obnovljivih izvora energije, odnosno zbog varijabilnosti proizvodnje, njihovim uvođenjem u lokalni energetski sustav javlja se problem preuzimanja višaka i nadoknađivanja nedostataka u proizvodnji.

Problem ravnoteže potrošnje i varijabilne proizvodnje OIE rješava se različitim metodama:

1. Redukcije – gašenje OIE
2. Interkonekcije među državama
3. Pohrana energije u obliku reverzibilnih hidroelektrana
4. Pohrana energije u Vehicle-to-Grid (V2G) sustavima s električnim vozilima (EV) – parkirani električni automobili spojeni su na mrežu te služe kao baterije koje se mogu puniti u slučaju viškova električnih energija te prazniti u slučaju manjka istoga
5. Stacionarne baterije
6. Pohrana energije u vodiku
7. Pretvorba električne energije u e-goriva (elektrolizom u vodik pa dalje u e-goriva)
8. Interkonekcije među državama
9. Pretvorba u toplinsku energiju i naknadno pohranjivanje toplinske energije

Cilj ovog rada je pronaći idejno rješenje kako integrirati obnovljive izvore energije (u nisko, srednje i visoko opterećenom smislu) u gradu Duga Resa pri čemu je potrebno premostiti problem uravnoteživanja sustava. Cilj je maksimalno povećati udio obnovljivih izvora energije (OIE) te pritom smanjiti uvoz električne energije, CO₂ emisije i troškove na minimum. Kako bi regulirali problem ravnoteže energetskog sustava uslijed integracije obnovljivih izvora energije, korištena je „Vehicle-to-Grid“ (V2G) tehnologija te je pri tome CEEP (kritični višak

proizvodnje električne energije, engl. Critical Excess in Electricity production) održavan na nuli.

Za razvitak i analizu modela koristit će se PRISMI PLUS alati te EnergyPLAN, računalni simulacijskog modela namijenjenog za planiranje, analizu i optimizaciju energetske sustava. Razmatrane su i inovativne tehnologije za proizvodnju energije koje mogu doprinijeti dugoročnoj energetske održivosti lokalne zajednice.

U radu su prikazani alati korišteni u sve tri faze analize, od pred-procesiranja (alati za solarnu energiju, kalkulatori brzine vjetrova, i sl.), preko modeliranja u EnergyPLAN-u, do post-procesiranja i interpretacije rezultata. Analiza obuhvaća i tehnološko-ekonomsku isplativost te društveno-energetske učinke.

2. METODA I PODACI

2.1. RenewIslands

RenewIslands metodologija namijenjena je energetsom planiranju održivih i obnovljivih energetskih sustava na otocima [2]. Ona omogućuje holistički pristup energetsom planiranju, neovisno o lokaciji otoka, postojećoj energetskoj infrastrukturi, cijenama i drugim čimbenicima. Primarno je razvijena za otoke koji, zbog svoje geografske izoliranosti, većinu energetskih potreba zadovoljavaju uvozom naftnih derivata [3]. Međutim, metoda je jednako primjenjiva i na kopnene lokacije čiji je energetski sustav značajno ovisan o nafti i drugim neobnovljivim izvorima energije.

Metodologija se provodi kroz 4 koraka:

1. Mapiranje potreba

Provodi se s pomoću upitnika o razini potrebe koji uključuje potrebe za vodom, električnom energijom, grijanjem i hlađenjem, transportnim gorivima te tretmanima otpada i otpadnih voda

2. Mapiranje resursa

Temelji se na upitniku o dostupnim resursima podijeljen na 3 podskupa: lokalnu primarnu energiju (sunce, vjetar, biomasa i dr.), infrastruktura za uvoz energije (povezanost električne mreže, cjevovodi prirodnog plina, rafinerije i dr.) te voda (padaline, podzemne vode, morska voda i dr.); mapiraju se i potencijalni prijenosnici energije (električna energija, daljinsko grijanje i hlađenje, vodik i dr.)

3. Osmišljanje scenarija s tehnologijama koje mogu koristiti dostupne resurse za pokrivanje potreba

Uključuje izvedivost tehnologija (pretvorba energije, vodoopskrba, tretman otpadnih voda i dr.), izvedivost tehnologija skladištenja (energije, vode, otpada i dr.), izvedivost integracije tokova (kogeneracija i dr.) te osmišljanje alternativnih scenarija

4. Modeliranje

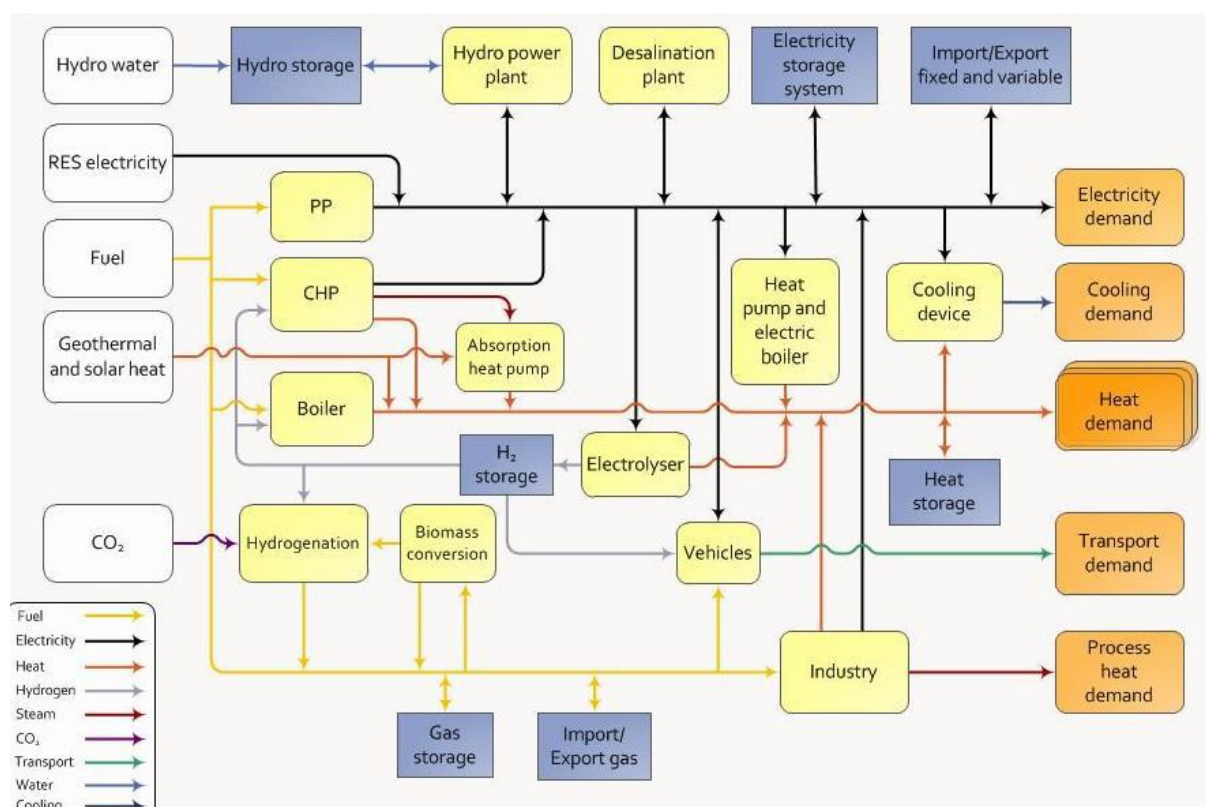
Provodi se detaljnim modeliranjem u programskom alatu (EnergyPLAN-u) čime se od velikog broja ponuđenih alternativnih scenarija pronalazi najbolji [3].

2.2. EnergyPLAN

EnergyPLAN je simulacijski alat koji je razvijen na Sveučilištu Aalborg u suradnji s PlanEnergi i EMD A/S. Njegova je glavna svrha analiza energetske, okolišne i ekonomske učinkovitosti različitih energetske strategije. Za razliku od optimizacijskih modela koji traže optimalno rješenje, EnergyPLAN omogućuje usporedbu više opcija čime se dobiva paleta mogućnosti za budući energetski sustav. Može se primijeniti na cijeli nacionalni, regionalni ili na lokalni energetski sustav, uključujući opskrbu toplinom i električnom energijom te transport i industriju [4][5].

Model simulira energetski sustav na satnoj razini tijekom godinu dana. Uključuje tehničke i tržišno-ekonomske simulacije temeljene na ulaznim parametrima kao što su potražnja, postojeći kapaciteti proizvodnje, postojeći kapaciteti obnovljivih izvora energije i troškovi.

Rezultati simulacija daju energetske bilance, godišnje proizvodnje, potrošnje goriva, uvozne i izvozne tokove, CO₂ emisije te ukupne troškove sustava. Model omogućuje i procjenu alternativnih scenarija [5][6].



Slika 1 Prikaz EnergyPLAN-a pri računu satnih bilanci

2.3. LOGREENER

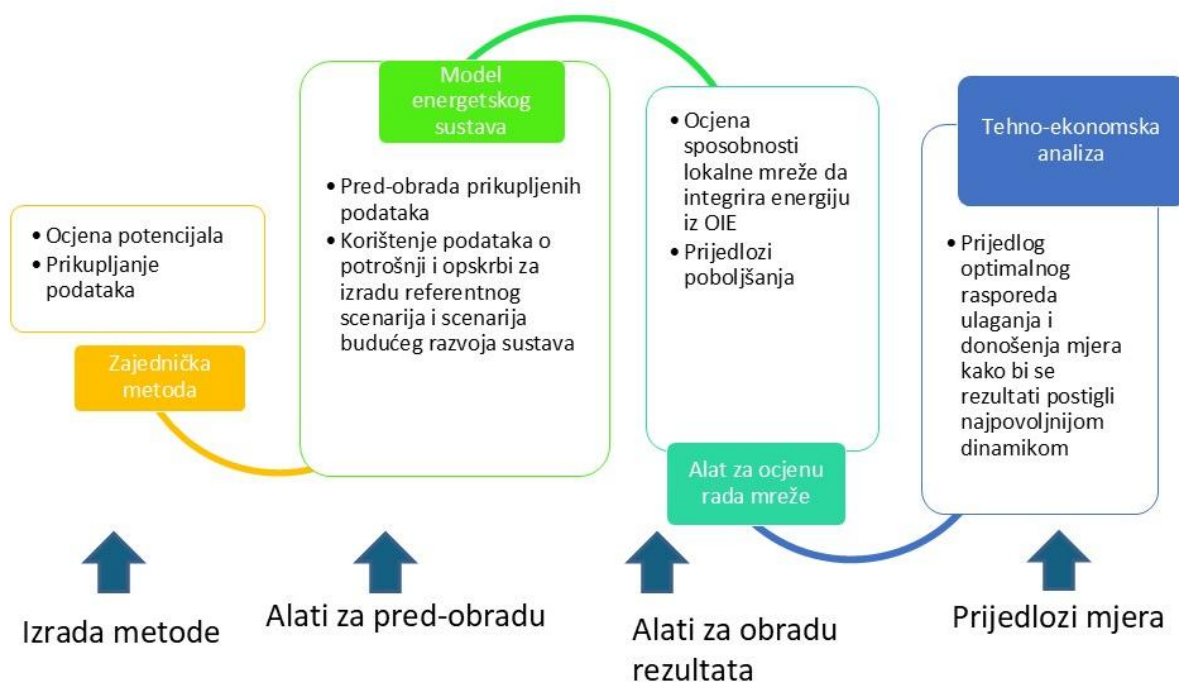
LOGREENER je projekt financiran fondovima Europske unije čija je namjena unaprijediti kapacitet lokalnih vlasti za razvoj i implementaciju lokanih planova energetske tranzicije. Kako bi se to ostvarilo, tri Interreg MED projekta su spojena u jednu cjelinu: COMPOSE, PRISMI PLUS i LOCAL4GREEN, te je kao rezultat nastao optimizirani i integrirani alatni paket te posebni paket za obuku lokalnih vlasti [7].

COMPOSE je projekt financiran kroz Interreg MED program s ciljem podržavanja lokalnih zajednica u izgradnji niskougljičnih zajednica povećanjem korištenja obnovljivih izvora energije i razvoja lokalnih poduzeća. Razvijen je alat otvorenog pristupa koji služi implementaciji vlastitih inicijativa zelene ekonomije uz podršku zajednice [8].

LOCAL4GREEN je projekt čiji je cilj pomoći lokalnim vlastima uspostaviti i implementirati politike usmjerene k promicanju obnovljivih izvora energije u javno-privatnom sektoru i kućanstvima. Projekt se provodio u ruralnim područjima i na otocima. U sklopu projekta razvijena je metodologija za izradu nacrtu te implementaciju, praćenje i evaluaciju lokalnih politika koje s pomoću fiskalnih mjera promiču obnovljive izvore energije [9].

PRISMI PLUS je nastavak Interreg MED projekta PRISMI u čijem je okviru razvijen set alata za analizu energetskeg sustava i lakšu identifikacije potencijala korištenja obnovljivih izvora energije na razini lokalne samouprave. Projekt je primarno bio fokusiran na otoke. PRISMI PLUS pristup detaljno je prikazan na Slici 2 koja ilustrira dijagram toka korištenja PRISMI PLUS alata te cjelokupni pristup koji se primjenjuje [10][11].

Komponente PRISMI pristupa



Slika 2 PRISMI PLUS pristup korak po korak

3. Primjena metodologije na energetski sustav Duge Rese

3.1. Opći okvir PRISMI PLUS metodologije za izradu budućih energetskih razvojnih scenarija

Metodologija, prilagođena Dugoj Resi, prati sljedeće korake:

1. Određivanje energetskih potreba lokalne zajednice

U suradnji s gradskom upravom Grada Duge Rese sakupljeni su podaci o potrošnji energije, grijanju i prometu, te su, što je moguće detaljnije, podijeljeni prema korištenim energetskim izvorima.

2. Određivanje lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije

Podaci o potencijalno dostupnim obnovljivim izvorima energije (OIE) sakupljeni su u obliku pogodnom za daljnju analizu. S obzirom na to da je solarna energija izvor s najvećim potencijalom za Dugu Resu, u ovom dijelu sakupljanja podataka korišten je internetski alat „Renewables.ninja“. Potencijal drugih izvora, poput vjetra, hidroenergije i geotermalne energije je premalen za njihovu isplativu primjenu.

3. Odabir tehnologije za spajanje energetskih potreba i energetskih resursa

Za analizu scenarija razmatraju se tehnologije koje mogu iskoristiti lokalno dostupne OIE te koje su tehnički i ekonomski izvedive za primjenu na području grada Duge Rese. Grad Duga Resa istaknuo je sljedeće tehnologije: fotonaponske (PV) sustave, solarne toplinske kolektore (ST), električna vozila (EV), „od vozila do mreže“ (V2G), dizalice topline (HP) te baterijske sustave za pohranu energije (BESS).

4. Podjela scenarija

Razvoj energetskog sustava Duge Rese razmatra se kroz tri scenarija. LowRES, RES i HighRES.

LowRES predstavlja „Business as Usual“, odnosno scenarij s niskim udjelom OIE te velikom ovisnošću o fosilnim gorivima.

RES predstavlja scenarij s umjerenim udjelom OIE, u mjeri koja je trenutačno ekonomski izvediva gradu Dugoj Resi, a s ciljem značajnog smanjenja ovisnosti o fosilnim gorivima.

HighRES predstavlja idealni scenarij, s visokim udjelom OIE s fokusom na maksimalnoj integraciji OIE.

3.2. Izrada satnih krivulja za EnergyPLAN

Kako bi koristili EnergyPLAN za analizu i modeliranje, nužna je izrada satnih distribucijskih krivulja potrebnih za daljnju analizu EnergyPLAN-om.

Kako bi EnergyPLAN mogao obrađivati unesene satne distribucijske krivulje, bitno je da je svaka krivulja u obliku .txt dokumenta te da sadrži točno 8784 podatka, po jedan za svaki sat u prijestupnoj godini. U slučaju da su podaci uzeti za godinu koja nije prijestupna, potrebno je dodati dvadeset i četiri nule na kraj satne krivulje. Bitno je i da se vrijednosti nalaze između 0 i 1, odnosno da su izražene u postotcima. [5]

3.2.1. Krivulja toplinskog opterećenja

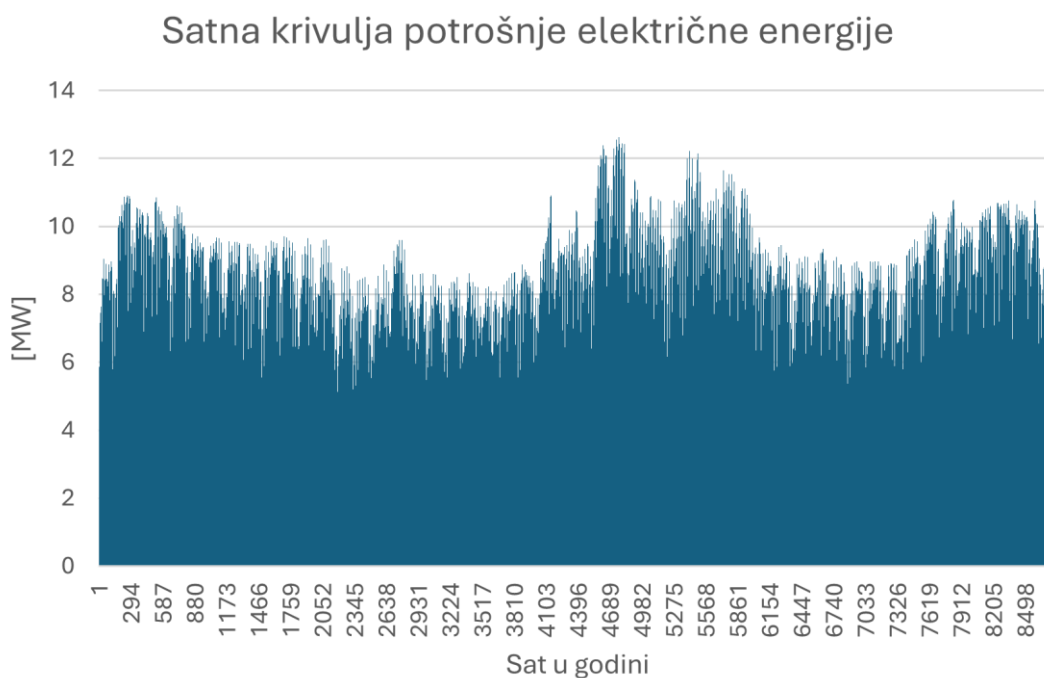
Sa stranice Renewables.ninja preuzeta je krivulja toplinskog opterećenja za Dugu Resu [12]. Uzeta je lokacija unutar gradske jezgre označena na Slici 9 oznakom „G1“. Ukupno godišnje toplinsko opterećenje uzeto je iz Akcijskog plana energetske održivosti Grada Duge Rese /SEAP) te iznosi 78GWh [13]. Satna krivulja toplinskog opterećenja prikazana je na Slici 3.



Slika 3 Satna distribucija toplinskog opterećenja

3.2.2. Krivulja potrebe za električnom energijom

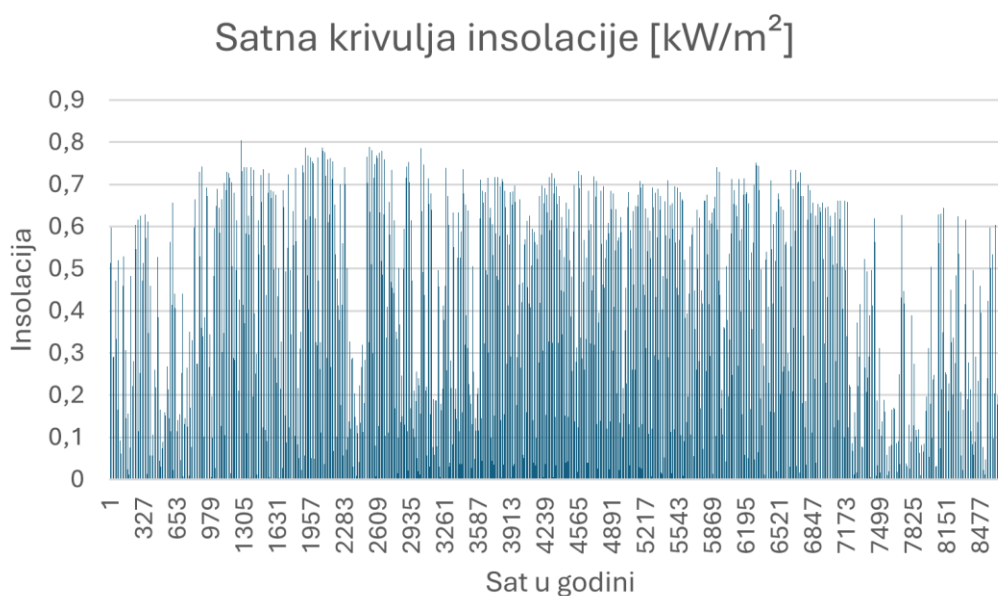
Uzeta je satna krivulja potrošnje električne energije za cijelu Hrvatsku u 2024. godini te je proporcionalno prilagođena za Grad Dugu Resu preko omjera broja stanovnika u Dugoj Resi i ukupnog broja stanovnika Hrvatske [14][15]. Sumiranjem svih 8784 podatka o opterećenju dobivena je ukupna potreba za električnom energijom koja iznosi 14,4 GWh. Ta je brojka zatim dodatno potvrđena uspoređivanjem s podacima trafostanice u Dugoj Resi. Dobivena satna krivulja je prikazana na Slici 4.



Slika 4 Distribucija potrošnje električne energije

Krivulje insolacije

Satne krivulje insolacije preuzete su sa stranice Renewables.ninja [12]. S obzirom na to da su u analizi korišteni solarni paneli instalirani na krovove i agrosolar, uzete su krivulje za jednu lokaciju u gradskoj jezgri, jednu lokaciju određenu za solarnu elektranu te tri lokacije predviđene za agrosolar koje predložila je gradska uprava Duge Rese. Lokacije uzete za insolaciju vidljive su na Slici 9, a stana krivulja insolacije za lokaciju G1 prikazana je na Slici 5.



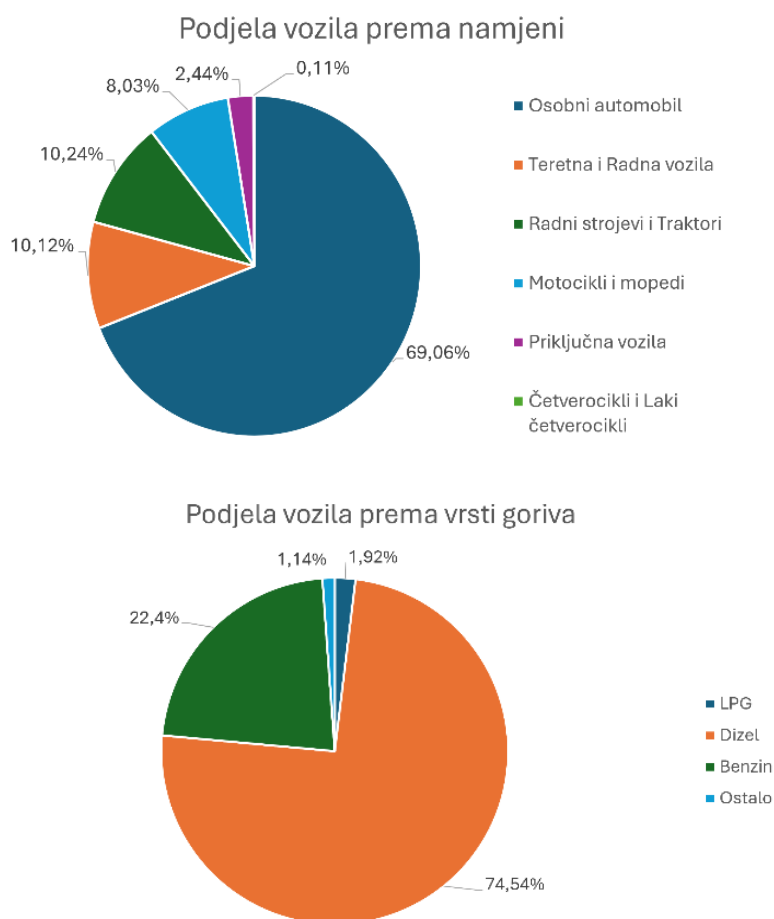
Slika 5 Satna distribucija insolacije u gradskoj jezgri (G1)

3.3. Trenutačno energetska stanje Grada Duge Rese – sakupljeni podaci

Kako bi izradili bazni model postojećih energetskog sustava Duge Rese u EnergyPLAN-u, bilo je potrebno u suradnji s gradskom upravom Duge Rese prikupiti i obraditi podatke o potrošnji energije u sektoru zgradarstva, prometa i industrije

3.3.1. Promet, industrija i potrošnja toplinske i električne energije

Prema popisu stanovništva iz 2021. godine, u Dugoj Resi živi 10126 stanovnika u 3706 kućanstava [15]. U Dugoj Resi trenutno je registrirano 7451 vozilo većinski pogonjeno Dizelskim gorivom (74,54 %). Daljnja podjela vozila prema vrsti te prema vrsti goriva prikazana je na Slici 6. S obzirom na namjenu vozila, moguće je elektrificirati njih 6688, što je bitan podatak za daljnju analizu elektrifikacije vozila.



Slika 6 Podjela vozila u Dugoj Resi prema namjeni i prema vrsti goriva

Iz dokumenta Energija u Hrvatskoj Energetskog Instituta Hrvoje Požar, rikupljeni su podaci o neposrednoj potrošnji energije u prometu te su zatim prilagođeni Dugoj Resi s pomoću omjera

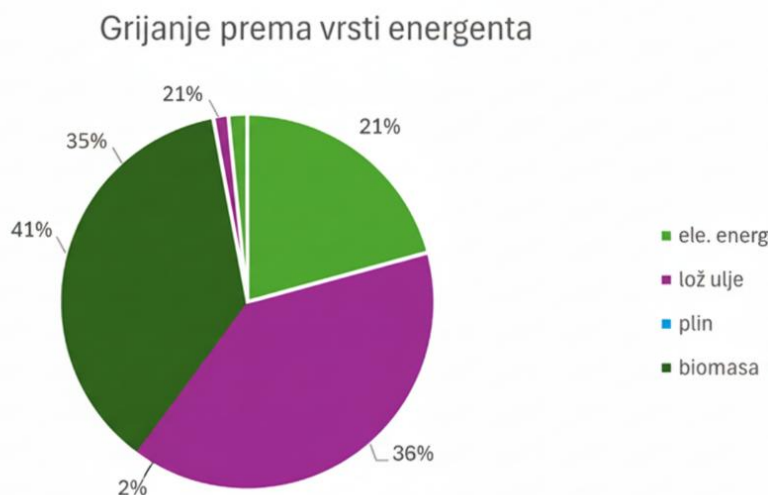
broja vozila u Dugoj resi i ukupnog broja vozila u Hrvatskoj. Ukupni broj vozila u Hrvatskoj uzet je iz dokumenta Državnog zavoda za statistiku. [16] [17]

Raspodjela vrsta vozila prema udjelu u Dugoj Resi prikazane su na Slici 6.

S pomoću Akcijskog plana energetske održivosti razvika Grada Duge Rese (SEAP), određena je ukupna godišnja potreba za toplinskom energijom koja iznosi 78 GWh [13], kao i udjeli pojedinih energenata korištenih za grijanje prikazanih na Slici 7. Također je određena ukupna godišnja potreba za električnom energijom koja iznosi 14,38 GWh. Podjela potrebe za toplinskom energijom prema vrsti energenta korištenog za grijanje prikazana je u Tablici 1.

Tablica 1 Potreba za energijom Duge Rese

Potrošnja toplinske energije	Iznos [MWh]
Električna energija	16 192,98
Lož ulje	27 943,5
Prirodni plin	1443,02
Biomasa	32 477,54
Ukupno za grijanje	78 057,04



Slika 7 Udio pojedinih energenata u grijanju

Na području Duge Rese trenutno su u pogonu dva industrijska postrojenja, Aquaestil i Ljevaonica Duga Resa, te se do kraja 2025. godine planira otvaranje novog pogona proizvodnje aluminija. Trenutno je u procesu dovod plina koji će služiti za pogon bolnice i industrijskih procesa u navedenim postrojenjima. Određeno je da će se posebnim plinovodima za tu svrhu dovoditi 300 000 m³ prirodnog plina godišnje, a to je, uzimajući u obzir prosječnu donju ogrjevnost prirodnog plina od 11 kWh/m³, ukupno 3,3 MWh energije prirodnog plina.

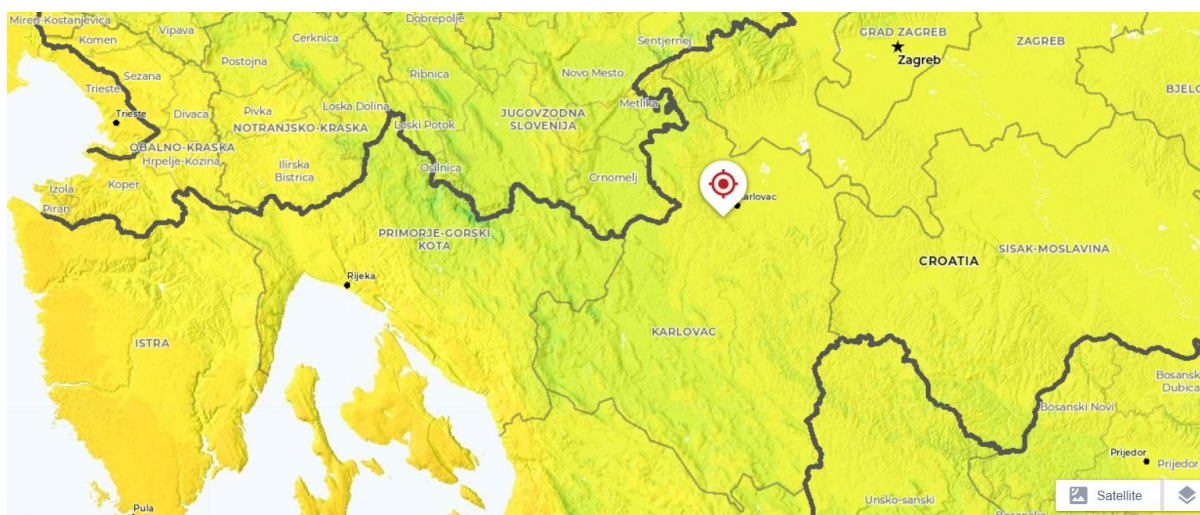
3.3.2. Tehnički potencijal proizvodnje energije iz lokalno dostupnih obnovljivih izvora energije

Identificiran je hidropotencijal rijeke Mrežnice, te u sklopu jednog diplomskog rada izrađen je projekt male hidroelektrane (MHE) Duga Resa [18]. S obzirom na to da je projicirana godišnja proizvodnja projektirane hidroelektrane tek 1179 MWh, zaključeno je da hidropotencijal u Dugoj Resi nije dovoljno značajan te stoga nije uzet za daljnju analizu.

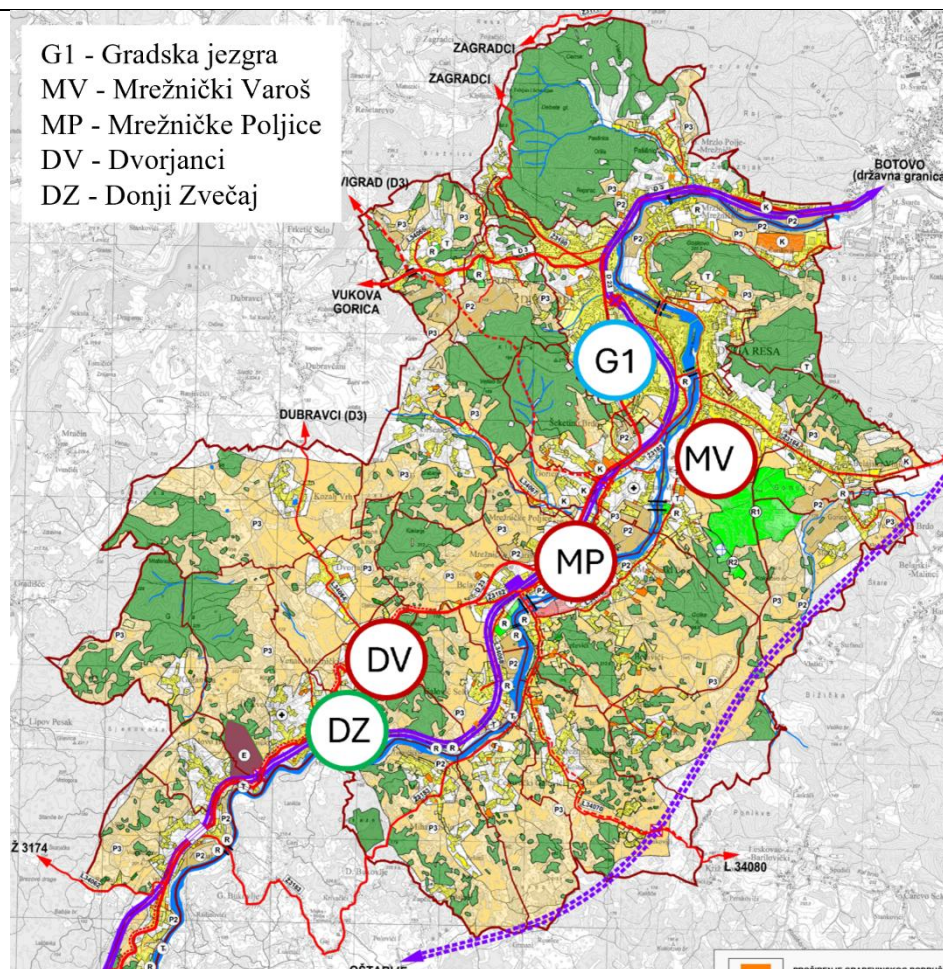
S pomoću Karte geotermalnog potencijala i Global Wind Atlasa, utvrđeno je kako su geotermalni potencijal i potencijal vjetra na području Grada Duge Rese premaleni za ekonomski isplativo korištenje te su također isključeni iz daljnje analize [19][20].

Na temelju navedenog, uz korištenje dostupnih solarnih atlasa, zaključeno je da je jedini ekonomski isplativ obnovljivi izvor energije za Dugu Resu solarna energija.

3.3.3. Solarna energija u Dugoj Resi



Slika 8 Insolacija Duge Rese



Slika 9 Karta Duge Rese s označenim potencijalnim lokacijama za instalaciju solarnih panela. Grad Duga Resa ima velike poljoprivredne površine pogodne za instalaciju agrosolara. Gradska uprava Duge Rese predložila je tri lokacije za instalaciju: Dvorjanci (DV), Mrežnički Varoš (MV) i Mrežničke Poljice (MP), označene na karti crvenim kružićima u sklopu Slici 9. Ukupna površina navedene tri lokacije na kojoj se može instalirati agrosolar iznosi 14 ha. Prema dokumentu Europske unije o potencijalima i izazovima agrosolara u EU, za Hrvatsku je uzet potencijal za instalaciju kapaciteta od 0,25 MW/ha, stoga je proračunato da je moguće postaviti 3,5 MW agrosolarnih kapaciteta [21].

Gradska uprava Duge Rese također je predložila katastarsku općinu Donji Zvečaj (DV), čiji je vlasnik Republika Hrvatska, kao potencijalno područje za instalaciju solarne elektrane. Navedena lokacija označena je zelenim kružićem na Slici 9. Kada bi se iskoristilo 30 % površine te katastarske jedinice, moguće je instalirati solarnu elektranu od 30 MW.

Unutar gradske jezgre (G1), označene plavim kružićem na karti u sklopu Slike 9, nalazi se 10 zgrada koje su potencijalni projekti za energetska obnovu i instalaciju solarnih panela na njihove krovove. Zgrade su popisane u Tablici 2 te su sve u vlasništvu Grada Duge Rese,

Republike Hrvatske ili njima upravlja lokalna zajednica. Analizom krovova tih zgrada s pomoću internetskog programa SolarEdge zaključeno je da se na njih sumirano može postaviti 550 kWp solarnog kapaciteta [22].

Tablica 2 Lokacije unutar grada Duga Resa pogodne za potencijalno instaliranje solarnih panela na krovove

Lokacija	Procijenjeni solarni potencijal [kWp]
Gradska Uprava	40
Dječji vrtić Kasar	50
Dječji vrtić i učenički dom	80
Čistoća Duga Resa	15
Sportski dom Partizan	30
OŠ Vladimir Nazor	124
SŠ Duga Resa	95
Turistička Zajednica Četiri Rijeke	10
Vatrogasni Dom Duga Resa	79
Željeznička Postaja Duga Resa	27
UKUPNO	550

Od lokacija navedenih u Tablici 2, trenutačno je u obnovi zgrada Gradske Uprave te se na nju u sklopu obnove postavlja 40 kW solarnih panela, a do kraja 2025. u planu je i početak obnove Dječjeg Vrtića Maslačak.

4. RAD U ENERGYPLAN-U

Satne distribucijske krivulje te prikupljeni podaci o energetsom stanju grada Duga Resa služili su za izradu baznog modela postojećeg energetskeg sustava Duge Rese u EnergyPLAN-u.

Kao što je navedeno u u točki 4 Općeg okvira PRISMI PLUS metodologije za izradu budućih energetskeg razvojnih scenarija, razvoj energetskeg sustava Duge Rese razmatra se za tri scenarija, LowRES, RES i HighRES. Kako bi to bilo moguće, potrebno je bilo izraditi tri zasebna EnergyPLAN modela koja su se zatim proučavali za dvije projekcijske godine, 2030. i 2050.

4.1. LowRES scenarij

LowRES scenarij predstavlja „Business as usual“ scenarij te je stoga LowRES EnergyPLAN model najbliži trenutačnom stanju u Dugoj Resi.

Prema NECP-u udio osobnih vozila s pogonom na električnu energiju u ukupnom broju registriranih osobnih vozila u Hrvatskoj trenutačno iznosi manje od 0,3 %. Prema Strategiji energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu, uzimajući u obzir scenarij razvoja uz primjenu postojećih mjera, koji predstavlja kontinuitet trenutačne politike primjene postojećih mjera u promjenama energetskeg sektora, udio električnih vozila u 2030. godinu trebao bi iznositi 2,5 %, a za 2050. godinu 30 % [23]. Takve projekcije, primijenjene na Dugu Resu prikazane su u Tablici 3.

Godina	Udio elektrificiranih vozila za LowRES	Procijenjeni broj električnih vozila
2025	0,3 %	20
2030	2,5 %	167
2050	30 %	2006

Tablica 3 Procjena broja automobila u Dugoj Resi za LowRES scenarij za tri projekcijske godine

S obzirom na manjak podataka o instaliranim solarnim kapacitetima na privatnim kućama, uzeto je da trenutačno 20 kuća u Dugoj Resi ima instalirane solarne panele te da prosječna kuća ima 5 kW instaliranog kapaciteta. U tijeku je instalacija 40 kW solarnih panela na krov zgrade Gradske uprave Duge Rese, stoga će izračunati kapacitet za 2025. godinu bit će uvećan za navedenu vrijednost.

Na temelju trenda porasta instalacija solarnih panela u posljednjih nekoliko godina za Republiku Hrvatsku, procijenjeno je da će se svake godine na privatnim kućama u Dugoj Resi instalirati 10 % više solarnih kapaciteta u odnosu na prethodnu godinu [23]. Na temelju toga izračunato je koliko će se solarnih kapaciteta postaviti na privatnim kućama u Dugoj Resi za LowRES scenarij do projektnih godina 2030. i 2050. Izračunati podaci prikazani su u Tablici 4.

Tablica 4 Procjena instaliranih solarnih kapaciteta za projekcijske godine

Godina	Procijenjeni solarni kapacitet na privatnim kućama u Dugoj Resi [kW]
2025	160
2030	258
2050	1734

4.2. RES scenarij

RES scenarij predstavlja scenarij „umjerene ambicije“: U sklopu njega, na veličine navedene u Tablici 4, dodatno je instalirano 3,5 MW agrosolara na 14 ha površine te 510 kWp solarnih panela na krovove zgrada popisanih u Tablici 2, ne uključujući zgradu Gradske Uprave, s obzirom na to da je ona već uključena u LowRES scenarij.

Za projekciju do 2030. godine planirana je instalacija 0,5 MW agrosolara na lokaciji Mrežničke Poljice i isto toliko u Mrežničkom Varošu, te 100 kWp solarnih panela na krovovima već spomenutih zgrada. Do 2050. godine se stoga dodaje preostalih 2,5 MW agrosolarnih kapaciteta na lokaciji Donji Zvečaj te dodatnih 410 kWp na krovove gradskih zgrada. Instalirani kapaciteti za projekcijske godine prikazani su na Slici 11.

Uzeto je da će se do 2030. udio električnih vozila u odnosu na 2025. godinu, povećati na 10 %, a do 2050. godine na 50 %. Broj električnih vozila za RES scenarij prikazan je u sklopu Slike 10. Sva električna vozila u ovome scenariju pune se na „dump charge“. Za izračun procijenjenog broja električnih vozila u obzir je uzeto 6688 vozila koja se mogu elektrificirati.

Tablica 5 Procjena broja automobila u Dugoj Resi za RES scenarij za projekcijske godine

Godina	Udio elektrificiranih vozila za RES	Procijenjeni broj električnih vozila
2030	10 %	669
2050	50 %	3344

S obzirom na visoki udio lož ulja i prirodnog plina kao energenata za grijanje, za RES scenarij uzeto je da će se do 2030. godine 5 % tih energenata zamijeniti dizalicama topline, a do 2050. godine 30 % u odnosu na 2025. godinu. Iznosi potreba za energijom po projekcijskim godinama za RES scenarij prikazane su u Tablici 6.

Kako bi se izračunala energija potrebna za pogon dizalica topline koje bi zamijenile bojler na lož ulje i prirodni plin, uzimao se COP 3 (koeficijent učinka, engl. coefficient of performance) te da je efikasnost bojlera na lož ulje 85 %, a bojlera na prirodni plin 90 %.

Tablica 6 Udjeli energenata u potrošnji toplinske energije za RES scenarij za projekcijske godine

Potrošnja toplinske energije	RES 2030.	RES 2050.
Električna energija	22,63 %	32,04 %
Lož ulje i prirodni plin	35,77 %	26,35 %
Biomasa	41,61 %	41,61 %

4.3. HighRES scenarij

HighRES scenarij predstavlja idealnu situaciju u sklopu koje bi se, uz 3,5 MW agrosolara i planirane solare na zgradama prikazane u Tablici 2, izgradila solarna elektrana od 10 MW na lokaciji Donji Zvečaj. Do 2030. godine postavilo bi se 4 MW, a do 2050. godine preostalih 6 MW.

Cilj je potpuno zamijeniti vozila na pogone fosilnim gorivima (dizel, benzin, lož ulje, LPG i prirodni plin). Stoga je uzeto da se, od 6688 vozila koje je moguće elektrificirati, do 2030. godine 50 % zamijeni električnima, a do 2050. godine da se zamijene sva vozila.

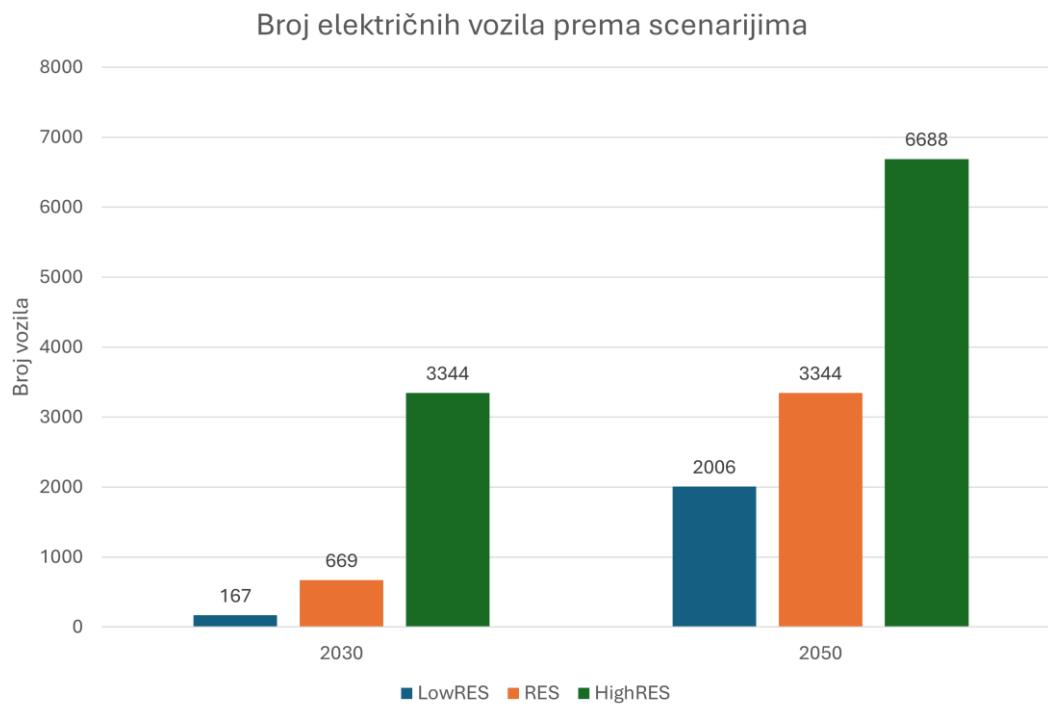
Kao sustav za pohranu energije uvedena je „Vehicle to Grid“ (V2G) tehnologija te se vozila pune uz „pametno punjenje“. Broj električnih vozila za HighRES scenarij prikazan je na Slici 10. Ostatak vozila koja se ne mogu elektrificirati, njih 763, pogonio bi se vodikom. S obzirom na to da su navedena vozila uglavnom radni strojevi koji ne prelaze veliku udaljenost, uzeto je da prosječno vozilo na vodik prijeđe 8000 km godišnje.

Do 2030. godine 20 % kućanstava koja se griju na prirodni plin i lož ulje prešli bi na grijanje dizalicama topline. Do 2050. godine navedeni energenti u potpunosti bi se zamijenili dizalicama topline. Udjeli energenata za grijanje za HighRES scenarij prema projekcijskim godinama prikazan je u Tablici 7.

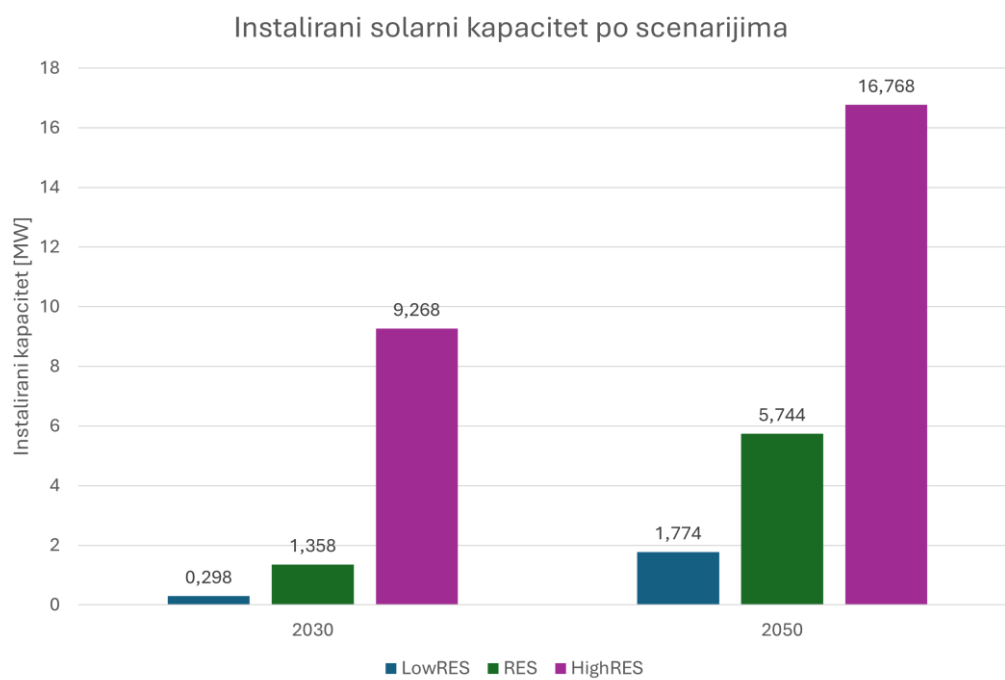
Tablica 7 Udjeli energenata u potrošnji toplinske energije za HighRES scenarij za projekcijske godine

Potrošnja toplinske energije	RES 2030.	RES 2050.
Električna energija	32,04 %	58,39 %
Lož ulje i prirodni plin	26,35 %	0 %
Biomasa	41,61 %	41,61 %

Na Slici 10 i Slici 11 prikazane su raspodjela vozila, odnosno instalirani kapaciteti, za sva tri scenarija - LowRES, RES i HighRES.



Slika 10 Raspodjela vozila prema vrsti pogona za sva tri scenarija



Slika 11 Instalirani solarni kapacitet za sva tri scenarija

5. ANALIZA I REZULTATI

Uvrštavanjem podataka iz poglavlja 3 u EnergyPLAN te niveliranja sustava uz održavanje CEEP-a na nuli, dobiveni su sljedeći rezultati.

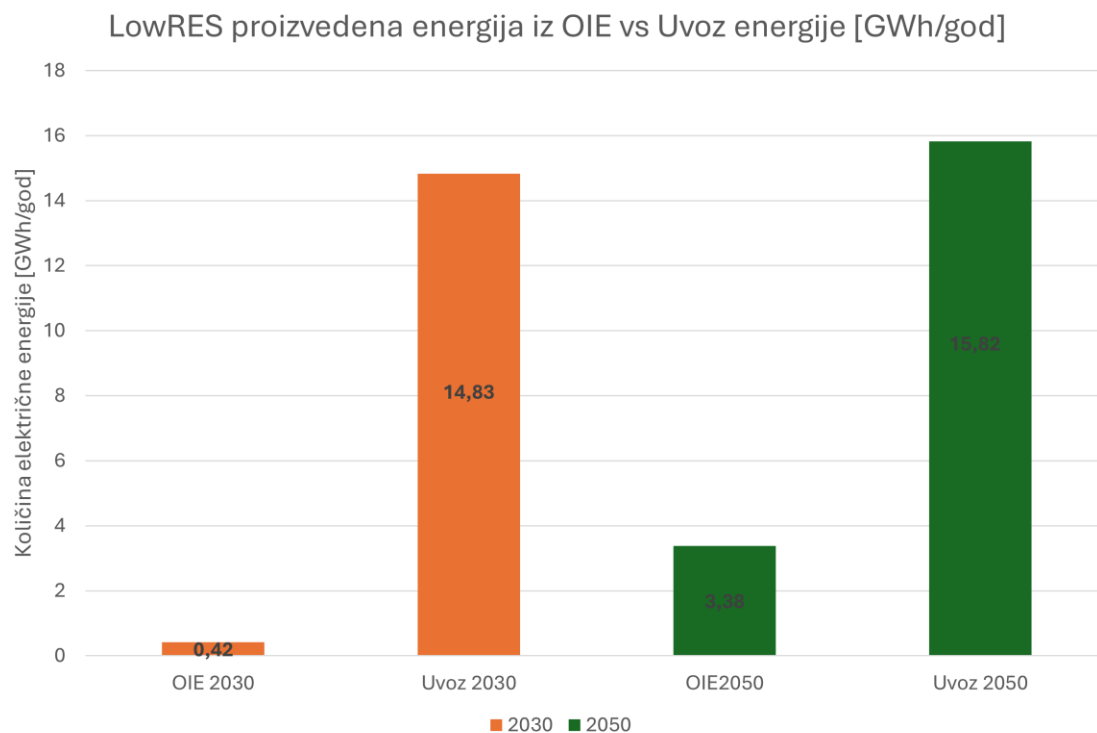
5.1. LowRES – rezultati

Prema LowRES strategiji do 2030. godine, udio obnovljive energije u ukupnoj primarnoj opskrbi energijom (PES) iznosi 27,8 %, dok udio obnovljive energije u proizvodnji električne energije iznosi 2,8 %, odnosno proizvodi se 0,42 GWh godišnje. S obzirom na mali udio energije proizvedene iz OIE, potrebno je uvoziti 14,38 GWh električne energije godišnje. Ukupna godišnja potreba za gorivom je 149,84 GWh, a CO₂ emisije iznose 28,896 kt godišnje. Prema istoj strategiji, ali za projekciju do 2050. godine, udio OIE u PES raste na 33,6 %, a udio obnovljive energije u ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji raste na 17,6 %. Proizvodi se 3,37 GWh električne energije godišnje. Ukupna godišnja potreba za gorivom pada na 131,79 GWh, a emisije CO₂ na 23,229 kt godišnje. Udio proizvedene energije i dalje je malen u odnosu na ukupne godišnje potrebe, te se stoga mora uvoziti 31,82 GWh električne energije. Taj je broj veći nego u projekciji za 2030. zato što se broj električnih vozila koji doprinose potrebi za električnom energijom znatnije povećao u odnosu na povećanje instaliranih solarnih kapaciteta.

Rezultati za obje projekcije za LowRES scenarij prikazani su u Tablici 8, a usporedba uvoza i proizvodnje iz OIE prikazana je grafički na Slici 12.

Tablica 8 Usporedba rezultata za LowRES scenarij za 2030. i 2050. godinu

	LowRES 2030.	LowRES 2050.
Ukupan uvoz električne energije [GWh/god]	14,38	15,82
Udio obnovljive energije u ukupnoj primarnoj opskrbi energijom	27,8 %	33,6 %
Udio obnovljive energije u proizvedenoj električnoj energiji	2,8 %	17,6 %
Proizvedena električna energija iz OIE [GWh/god]	0,42	3,38



Slika 12 LowRES strategija – usporedba uvezene energije i PV proizvodnje za 2030. i 2050. godinu

5.2. RES – rezultati

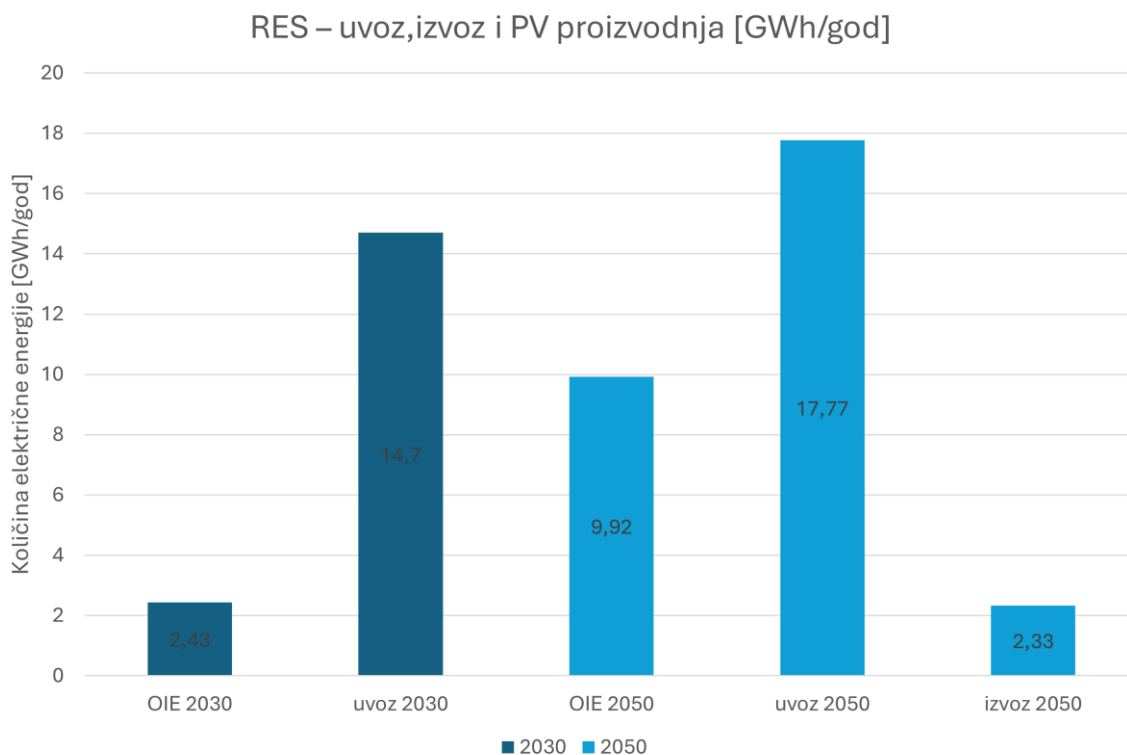
Prema RES strategiji, do 2030. godine, udio obnovljive energije u ukupnoj opskrbi energijom iznosi 30,3 %, a udio obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije dostiže 14,8 %, proizvodi se 2,43 GWh električne energije godišnje. Godišnja potreba za gorivom iznosi 144,46 GWh, a emisije CO₂ dostižu 26,74 kt. Potrebno je uvoziti 14,07 GWh električne energije godišnje.

Do 2050. godine, RES strategijom udio obnovljive energije u ukupnoj opskrbi energijom iznosi 45,3 %, što je porast od 15 % u odnosu na projekciju za 2030. godinu. Udio obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije također raste, na 39,1 %. Proizvodi se 9,92 GWh električne energije godišnje, a potrebno je uvesti 17,77 GWh električne energije, dok izvoz iznosi 2,33 GWh godišnje. Potreba za gorivom iznosi 113,1 GWh, a godišnje emisije CO₂ smanjuju se na 16,416 kt.

Rezultati za obje projekcije za RES scenarij prikazani su u 9. Usporedni grafički prikaz rezultata za 2030. i 2050. godinu RES scenarija prikazan je na Slici 13.

Tablica 9 Usporedba rezultata za RES scenarij za 2030. i 2050. godinu

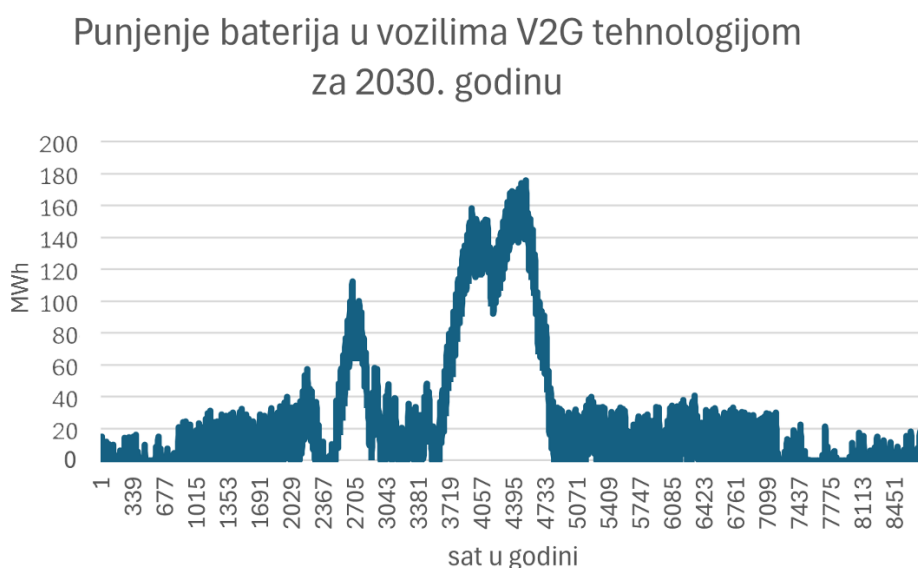
	RES 2030.	RES 2050.
Ukupan uvoz električne energije [GWh/god]	14,07	17,77
Ukupan izvoz električne energije [GWh/god]	/	2,33
Udio obnovljive energije u ukupnoj primarnoj opskrbi energijom	30,3 %	45,3 %
Udio obnovljive energije u proizvedenoj električnoj energiji	14,8 %	39,1 %
Proizvedena električna energija iz OIE [GWh/god]	2,43	9,92



Slika 13 RES strategija – usporedba uvezene energije, izvezene energije i PV proizvodnje za 2030. i 2050. godinu

5.3. HighRES rezultati

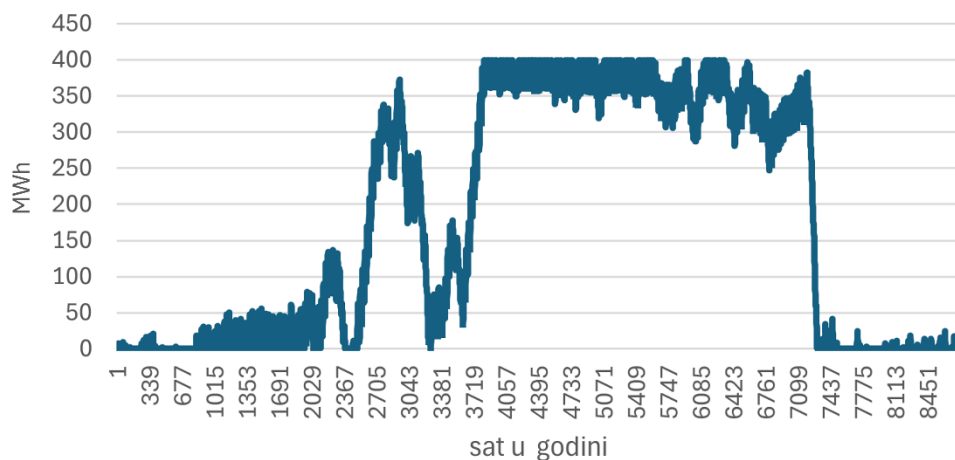
U HighRES scenariju za 2030. godinu, udio obnovljive energije u ukupnoj opskrbi energije iznosi 47,4 % dok je udio obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije 69,6 %. Godišnje se proizvodi 17,63 GWh električne energije, potrebno je uvesti 7,75GWh, a izvoz električne energije nije potreban. Ukupna potreba za toplinskom energijom je 124,28 GWh, a emisije CO₂ iznose 17,33 kt godišnje. Na Slici 14 prikazano je ponašanje pohrane energije u baterije unutar vozila V2G tehnologijom za ovaj scenarij. Ukupno V2G punjenje iznosi 13,24GWh, pražnjenje 4,22GWh, a potražnja iznosi 7,22GWh.



Slika 14 Punjenje baterija u vozilima V2G tehnologijom za HighRES projekciju 2030. godine

Za scenarij do 2050. godine udio obnovljive energije u ukupnoj primarnoj opskrbi energije iznosi 100 %, dok udio OIE u proizvodnji električne energije iznos 72,3 %. Godišnje se proizvodi 31,89 GWh električne energije, uvozi se 13,86 GWh, a izvozi 1,67 GWh. Potreba za gorivom pada na 73,19 GWh godišnje, što uključuje vodik potreban za pogon industrijskih pogona i transporta te biomasu za grijanje. CO₂ emisije su 0 kt. Na Slici 15 prikazano je ponašanje pohrane energije u baterije unutar vozila V2G tehnologijom za ovaj scenarij. Ukupna potrebna energija V2G-a iznosi 14,44 GWh, punjenje je 22,73GWh, a pražnjenje 5,41 GWh. Ukupna potreba za vodikom je 2,04 GWh te se toliko i proizvodi.

Punjenje baterija u vozilima V2G tehnologijom za 2050. godinu

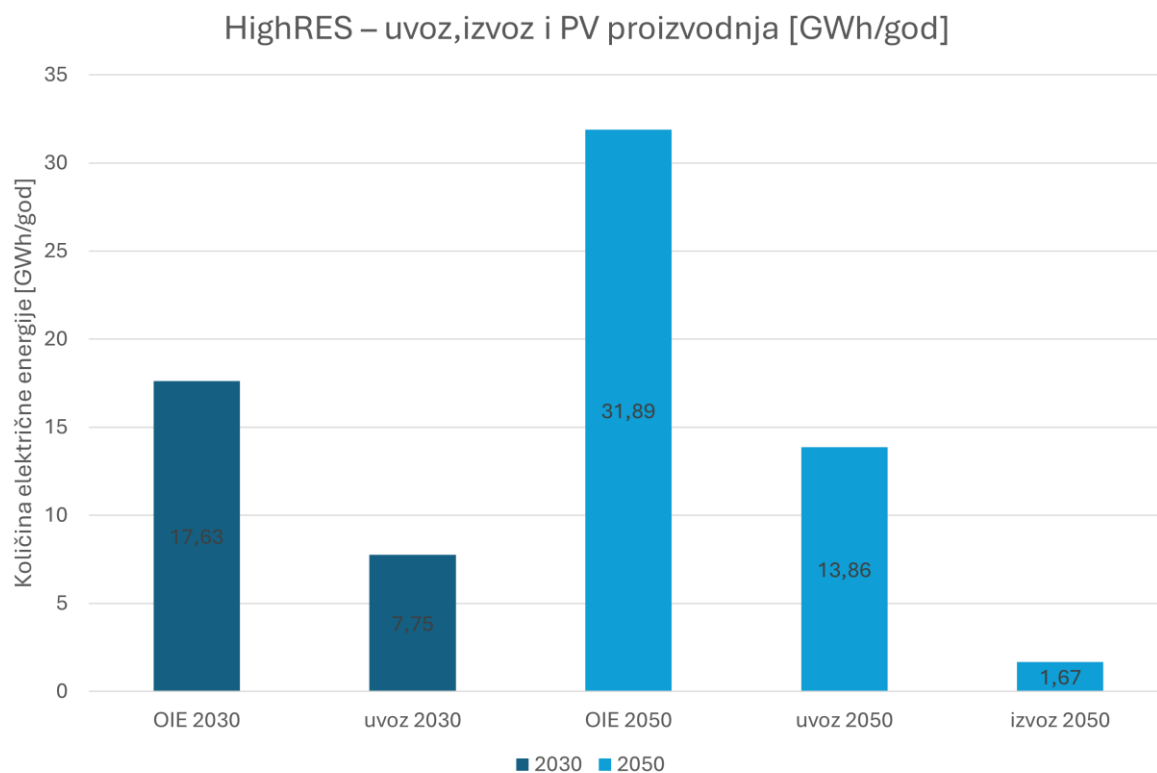


Slika 15 Punjenje baterija u vozilima V2G tehnologijom za HighRES projekciju do 2030. godine

Rezultati za obje projekcije za HighRES scenarij prikazani su u Tablici 10. Usporedni grafički prikaz rezultata za 2030. i 2050. godinu HighRES scenarija prikazan je na Slici 16.

Tablica 10 Usporedba rezultata za HighRES scenarij za 2030. i 2050. godinu

Regulacija V2G tehnologijom	HighRES 2030.	HighRES 2050.
Ukupan uvoz električne energije [GWh/god]	7,75	13,86
Ukupan izvoz električne energije [GWh/god]	/	1,67
Udio obnovljive energije u ukupnoj primarnoj opskrbi energijom	47,4 %	100 %
Udio obnovljive energije u proizvedenoj električnoj energiji	69,6 %	72,3 %
Proizvedena električna energija iz OIE [GWh/god]	17,63	31,89

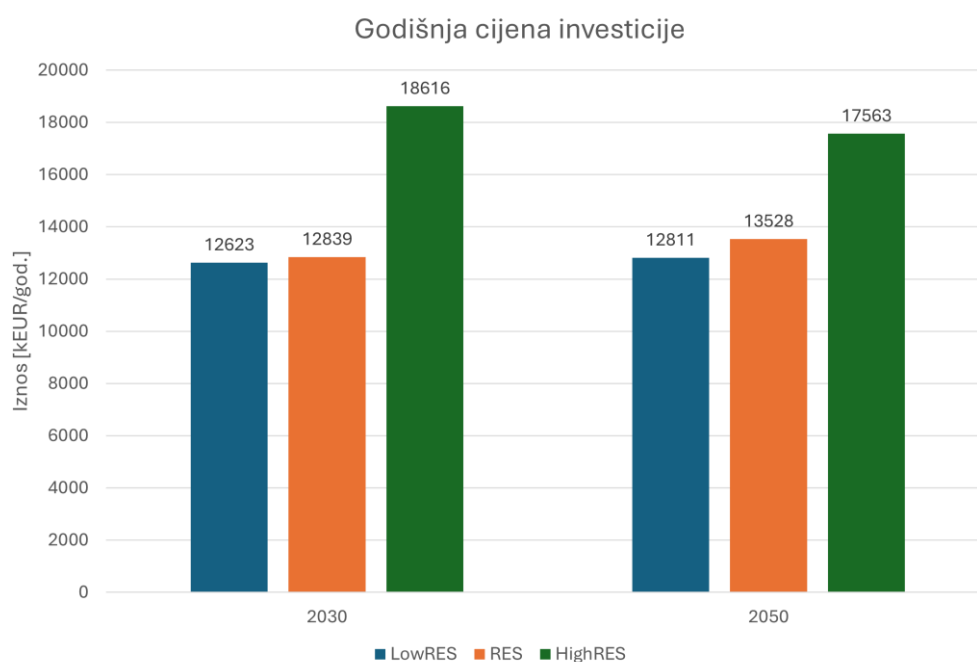


Slika 16 HighRES strategija – usporedba uvezene energije, izvezene energije i PV proizvodnje za 2030. i 2050. godinu

5.4. Društveno-ekonomska analiza

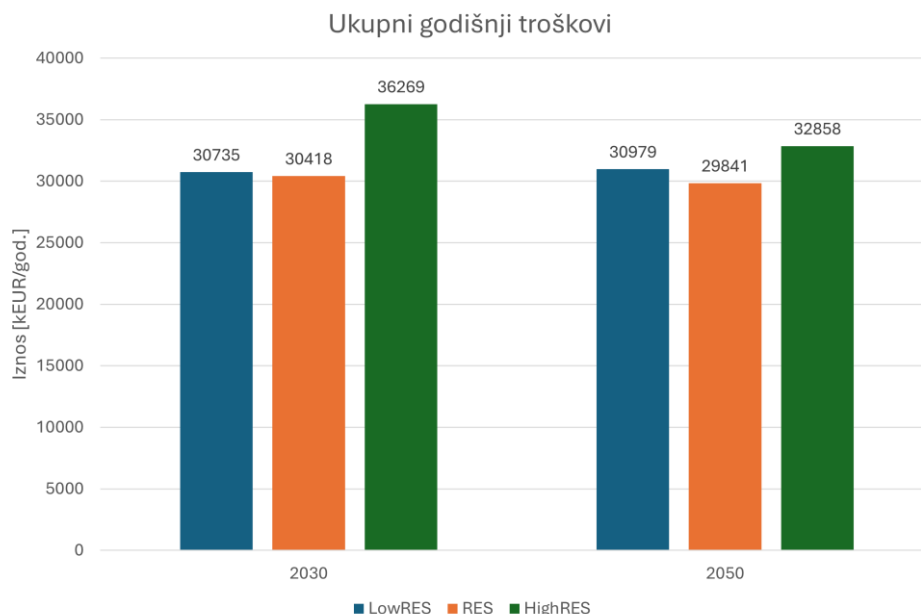
U sklopu ovog seminarskog rada provedena je i društveno-ekonomska isplativost scenarija sva tri scenarija, za obje projekcijske godine.

Povećanjem udjela OIE i električnih vozila, povećavaju se i investicijski troškovi. Promatrajući Sliku 17, vidljivo je da se godišnje cijene investicije za strategije do 2050. godine ne razlikuju pretjerano od onih proračunatih za strategije do 2030. godine. No, uzmemo li u obzir broj godina za provođenje investicije, primjetno su veće ukupne investicije do 2050. godine.



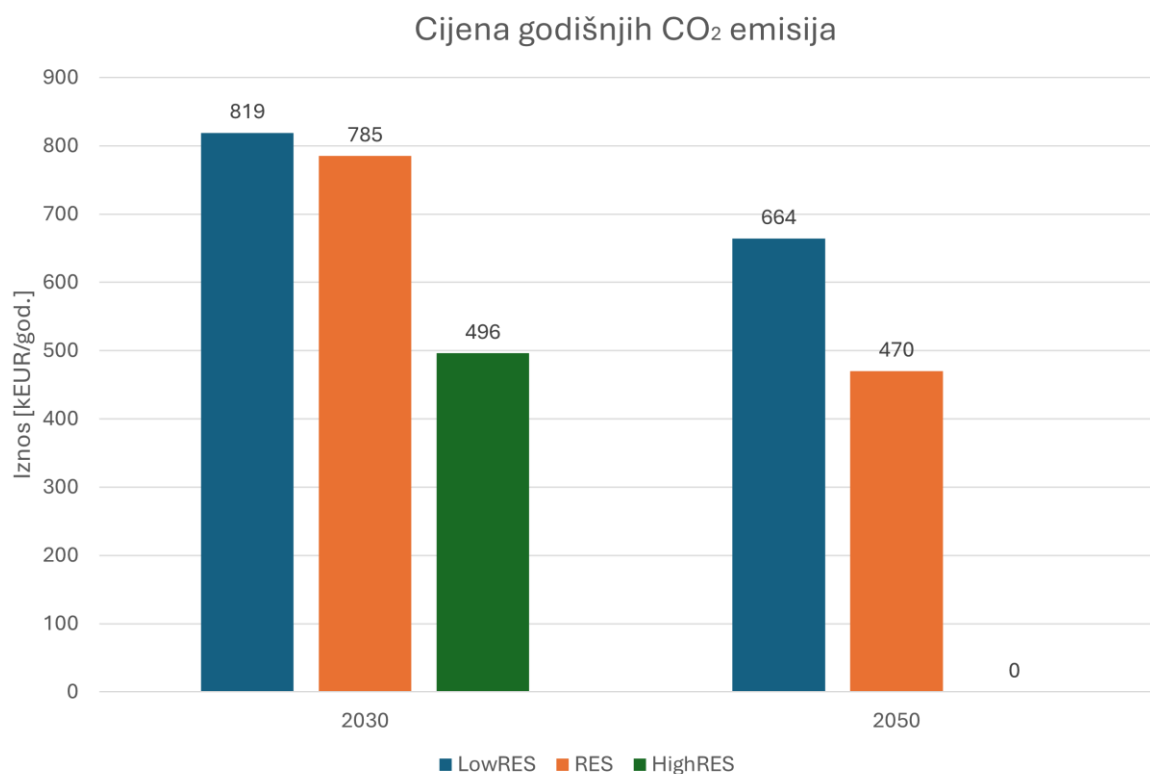
Slika 17 Godišnje cijene investicije za sve strategije i sve projekcijske godine

Što se tiče godišnjih troškova, prikazanih Slici 18, kreću se oko 30 000 kEUR godišnje, no relativno su manji za projekciju do 2050. godine, u odnosu na projekcije do 2030. godine. Značajan dio godišnjih troškova čini uvoz fosilnih goriva. Smanjenjem udjela fosilnih goriva koji se koriste u sustavima grijanja i za transport, smanjuje se i potreban uvoz istih. Iz toga su razloga ukupni godišnji manji u projekcijama za 2050. godinu.



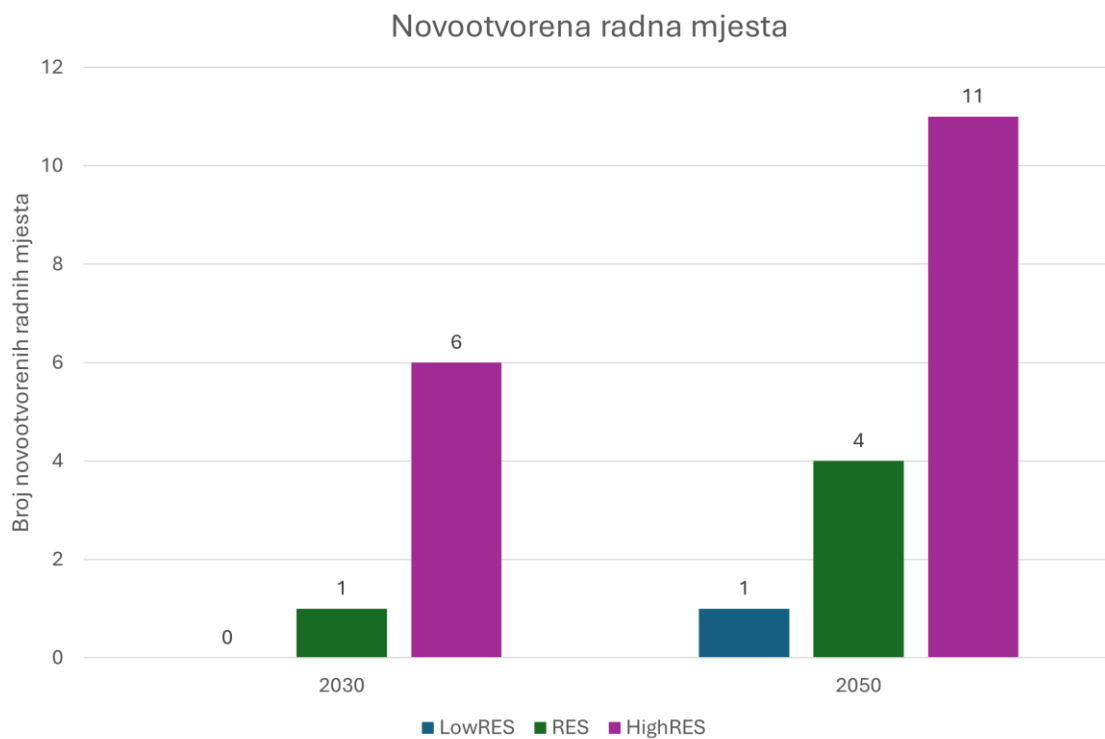
Slika 18 Ukupni godišnji troškovi za sve strategije i projekcije

Povećanjem udjela OIE te smanjenjem vozila pogonjenih fosilnim gorivima, godišnje cijene CO₂ emisija postepeno padaju, sve do HighRES strategije do 2050. godine kada dostignu nulu. To je posljedica uvođenja sve većeg udjela OIE te postepenog smanjivanja broja vozila pogonjenih fosilnim gorivima. Cijene godišnjih CO₂ emisije prikazane su grafički na Slici 19.



Slika 19 Prikaz cijena godišnjih emisija za sve strategije i projekcijske godine

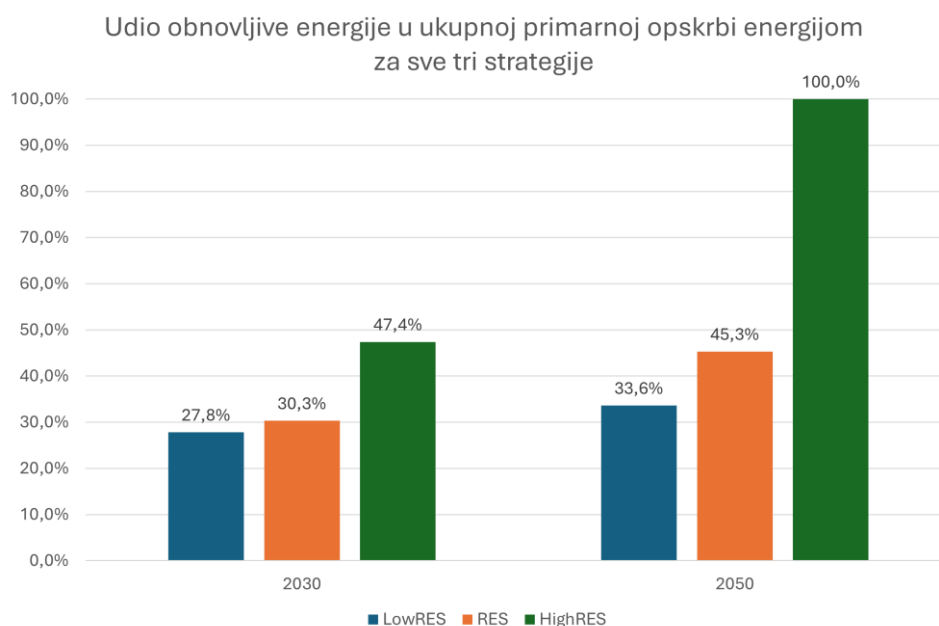
S pomoću EnergyPLAN Post Processing Toola određen je broj radnih mjesta koja bi se otvorila u Dugoj Resi za svaki od scenarija i za obje projekcijske godine. Povećanjem udjela OIE povećava se i broj novih radnih mjesta. Rezultati su grafički prikazani na Slici 20.



Slika 20 Broj novootvorenih radnih mjesta za sve strategije i projekcijske godine

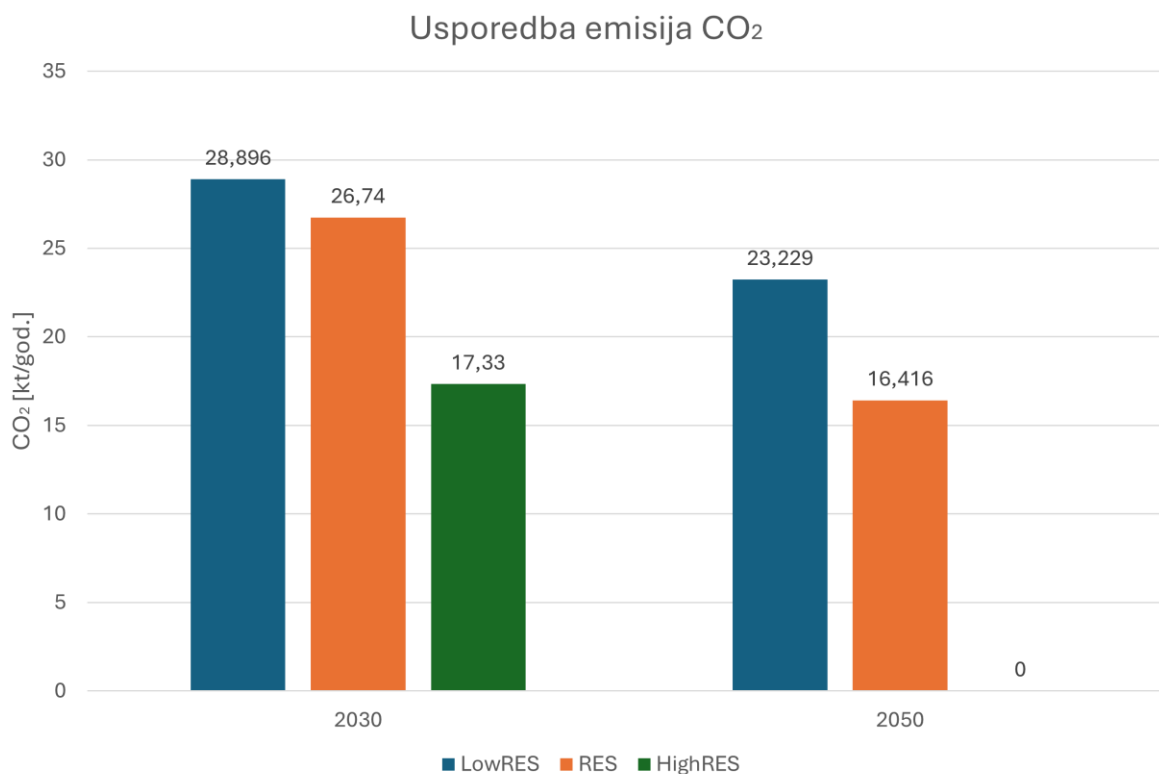
6. DISKUSIJA

Provedena je analiza energetske obnove Duge Rese kroz tri strategije, LowRES, RES i HighRES. Za svaku je strategiju provedena projekcija za 2030. godinu i 2050. godinu te je postepeno povećan udio OIE u proizvodnji i primarnoj opskrbi električne energije. Uz navedeno, postepeno je smanjen udio fosilnih goriva u grijanju, transportu i industriji. Usporedba udjela energije iz OIE u primarnoj opskrbi energijom za sve strategije prikazana je na Slici 21.



Slika 21 Prikaz udjela energije iz OIE u potrošnji energije za sve strategije i projekcijske godine

Uz usporedbu strategija prema udjelu obnovljivih izvora energije, bitno ih je usporediti i prema godišnjim emisijama CO₂. Analizom dobivenih emisija, prikazanih Slikom 22, vidljivo je kako je trend da uvođenjem većeg udjela obnovljivih izvora energije pada količina emitiranog CO₂. Odnosno, u 2050. godini za sve strategije niže su emisije nego za 2030. godinu, te je količina emitiranog CO₂ manja što je veći udio OIE u strategiji.



Slika 22 Usporedba emisija CO₂ za sve strategije i projekcijske godine

Primarni problem koji se javio u analizi je manjak pohrane za proizvedenu električnu energiju. Duga Resa ograničena je u pogledu broja izvora obnovljive energije. S obzirom na to da nema, ili je izrazito malen, potencijal za geotermalnu energiju, energiju vjetra i hidroenergiju, potrebno je pokriti cijelu potražnju za energijom Duge Rese s pomoću solarnih panela. Tu se javlja primarni problem ove analize, velike oscilacije u proizvodnji energije uzrokovane specifičnošću solarne proizvodnje. Iz tog je razloga potrebna je dobra potpora pohrane energije. Pohrana energije korištena je samo u HighRES strategiji i to isključivo u baterijama električnih vozila, s pomoću V2G tehnologije. S obzirom na to da je veličina i količina baterijske pohrane u tom slučaju ograničena brojem električnih automobila, ne možemo ju neograničeno povećavati kako bi nadoknadili oscilacije u proizvodnji električne energije. Zbog toga se javlja povećani uvoz energije te izvoz energije. Energija se nema gdje pohraniti pa se izvozi, zbog čega se u trenutcima male proizvodnje ili manjka proizvodnje solarne energije javlja potreba za uvozom.

Dodatan problem stvara što se drugi energenti u grijanju i transportu zamjenjuju električnom energijom, bez dostatne proizvodnje i pohrane. Zbog toga je porast uvoza energije u projekcijama za 2050. godinu u odnosu na 2030. godinu.

Za daljnje niveliranje i poboljšanje strategija potrebno je uvesti stacionarne baterije kao sustav za pohranu energije te bi niveliranju dodatno doprinijelo kada bi se dio dizalica topline uvedenih u RES i HighRES strategijama zamijenio grijanjem s pomoću solarnih kolektora.

S investicijskog aspekta, provedba RES strategije pokazuje se kao najizvedivija opcija. Usporedbom strategija do 2050. godine, uočava se investicijska razlika od 216 000 EUR godišnje između LowRES i RES strategije, uz istovremeno smanjenje CO₂ emisije za 29,2 %. Uz navedeno, RES strategija rezultira i smanjenjem ukupnih godišnjih troškova te otvaranjem tri radna mjesta više u odnosu na LowRES strategiju.

S druge strane, HighRES strategija, iako optimalna s obzirom na postizanje nultog karbonskog otiska, zahtjeva znatno veće investicije, što može predstavljati izazov u praksi.

7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu provedena je analiza energetske u programu EnergyPLAN koja je obuhvatila tri strategije – LowRES, RES i HighRES – s projekcijama za 2030. i 2050. godinu. Budući da solarna energija predstavlja jedini značajan obnovljiv izvor energije za Dugu Resu, sve tri strategija oslanjaju se upravo na nju. Iako je prijelaz na 100 % održiv energetski sustav moguć, zbog oscilacija, odnosno naravi solarne proizvodnje, potrebna je velika podrška sustava pohranjivanja. Sustav pohrane obrađen u HighRES scenariju, pohrana u baterije električnih vozila, nije dovoljan te je za poboljšanje strategija potrebno uvesti stacionarne baterije kao i šita primjena solarnih kolektora u grijanju. RES strategija pokazala se kao investicijski najizvedivija jer uz manja dodatna ulaganja donosi značajno smanjenje CO₂ emisija, niže troškove i nova radna mjesta.

LITERATURA

- [1] Službena stranica grada Duga Resa <https://dugaresa.hr/> (pristupljeno 08. srpnja 2025.)
- [2] Duić, N., Krajačić, G., & Carvalho, M. G. (2008). RenewIslands methodology for sustainable energy and resource planning for islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 1032–1062. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.015>
- [3] Pavlinek, L. (2017). Tehno-ekonomska analiza integracije obnovljivih izvora energije i sektora transporta u energetska mrežu otoka (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:885458>
- [4] Službena stranica alata EnergyPLAN <https://energyplan.eu/> (pristupljeno 01. srpnja 2025.)
- [5] Dokumentacija alata EnergyPLAN <https://energyplan.eu/about-energyplan/documentation/> (pristupljeno 02. rujna 2025.)
- [6] Pfeifer, A., Dobravec, V., Pavlinek, L., Krajačić, G., & Duić, N. (2018). Integration of renewable energy and demand response technologies in interconnected energy systems. *Energy*, 161, 447–455. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.134>
- [7] Službena stranica LOGREENER projekta <https://logreener.interreg-euro-med.eu/> (pristupljeno 02. rujna 2025.)
- [8] Službena stranica COMPOSE projekta https://ec.europa.eu/regional_policy/en/projects/Spain/interreg-projet-compose-building-low-carbon-communities-in-the-mediterranean-region (pristupljeno 02. rujna 2025.)
- [9] Službena stranica LOCAL4GREEN projekta <https://regea.org/local4green-projekt/> (pristupljeno 02. rujna 2025.)
- [10] Službena stranica Regionalne energetske agencije Kvarner <https://www.reakvarner.hr/projekti/medunarodni-projekti/prismi-plus-interreg-med> , (pristupljeno 08. srpnja 2025.)
- [11] Antun Pfeifer, Overview of the PRISMI PLUS project. https://www.sdewes.org/projects/aacta/documents/8_PRISMI%20PLUS.pdf (pristupljeno 10. rujna 2025.)
- [12] Službena stranica alata Renewables.ninja <https://www.renewables.ninja/> (pristupljeno 07. srpnja 2025.)

- [13] Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske (2011). Akcijski plan energetske održivog razvoja grada Duga Resa (SEAP). REGEA https://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/1220_1327918855.pdf (pristupljeno 08. rujna 2025.)
- [14] Službena stranica alata ENTSO-E <https://www.entsoe.eu> (pristupljeno 08. srpnja 2025.)
- [15] Državni zavod za statistiku (2021). Popis stanovništva po gradovima i općinama 2021. godine, Zagreb https://podaci.dzs.hr/media/td3jvrbu/popis_2021-stanovnistvo_po_gradovima_opcinama.xlsx (pristupljeno 22. travnja 2025.)
- [16] Energetski institut Hrvoje Požar (2024). Energija u Hrvatskoj 2023. https://eihp.hr/wp-content/uploads/2024/12/Energija-u-HR-2023_WEB_novo.pdf (pristupljeno 09. srpnja 2025.)
- [17] Državni zavod za statistiku (2025). Registrirana cestovna vozila i cestovne prometne nesreće u 2024. <https://podaci.dzs.hr/2025/hr/97465> (pristupljeno 22. travnja 2025.)
- [18] Franjić, K. (2011). Idejni projekt male hidroelektrane (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:741359>
- [19] Agencija za ugljikovodike (2025). Karta geotermalnog potencijala Republike Hrvatske. <https://gis.azu.hr/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=a96dcbc6ea1047d2bf63c0af5b1af84d> (pristupljeno 08. srpnja 2025.)
- [20] Global Wind Atlas <https://globalwindatlas.info/en/> (pristupljeno 08. srpnja 2025.)
- [21] Chatzipanagi, A., Taylor, N., & Jaeger-Waldau, A. (2023). Overview of the potential and challenges for agri-photovoltaics in the European Union (EUR 31482 EN). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/208702>
- [22] Službena stranica alata SolarEdge <https://www.solaredge.com/> (pristupljeno 05. srpnja 2025.)
- [23] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (2023). Ažurirani Integrirani nacionalni energetske i klimatski plan Republike Hrvatske za razdoblje od 2021.-2030. (NECP) <https://mingo.gov.hr/azurirani-integrirani-nacionalni-energetski-i-klimatski-plan-republike-hrvatske-za-razdoblje-od-2021-2030-necp/9220> (pristupljeno 05. srpnja 2025.)